

POWERED BY **Dialog**

Best focus decision apparatus for photolithography - has photoelectric converting device to determine frequency components of zigzagging lines for optimum focus

Patent Assignee: CANON KK

Inventors: HASEGAWA M; TAKEUCHI S; YOSHII M

Patent Family

Patent Number	Kind	Date	Application Number	Kind	Date	Week	Type
JP 9045609	A	19970214	JP 95211230	A	19950726	199717	B
US 5750294	A	19980512	US 96685464	A	19960724	199826	
JP 3269343	B2	20020325	JP 95211230	A	19950726	200222	

Priority Applications (Number Kind Date): JP 95211230 A (19950726)

Patent Details

Patent	Kind	Language	Page	Main IPC	Filing Notes
JP 9045609	A		11	H01L-021/027	
US 5750294	A			G03F-009/00	
JP 3269343	B2		11	H01L-021/027	Previous Publ. patent JP 9045609

Abstract:

JP 9045609 A

The best focus decision includes a process where transfer to a photo-sensitive base board is effected in a focus position. A photographing process where photo-sensitive patterns are formed on the photographing surface of a photoelectric converting device.

An image signal is obtained by the photoelectric converting device and information on one frequency component of the zigzagging lines is calculated. The profile of the image of the zigzagging opening is based on the frequency component. A best focus position is decided, based on that information.

ADVANTAGE - Best focus position corresponding to particular kind of resist and optimum exposure time are automatically and precisely decided quickly.

Dwg.6/15

Derwent World Patents Index

© 2004 Derwent Information Ltd. All rights reserved.

Dialog® File Number 351 Accession Number 11207540

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-45609

(43) 公開日 平成9年(1997)2月14日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027			H 0 1 L 21/30	5 2 6 B
G 0 3 B 27/72			G 0 3 B 27/72	
G 0 3 F 7/20	5 2 1		G 0 3 F 7/20	5 2 1
7/22			7/22	H
9/00			9/00	H

審査請求 未請求 請求項の数 8 F D (全 11 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平7-211230

(22) 出願日 平成7年(1995)7月26日

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 長谷川 雅宜

神奈川県川崎市中原区今井上町53番地 キヤノン株式会社小杉事業所内

(72) 発明者 竹内 誠二

神奈川県川崎市中原区今井上町53番地 キヤノン株式会社小杉事業所内

(72) 発明者 吉井 実

神奈川県川崎市中原区今井上町53番地 キヤノン株式会社小杉事業所内

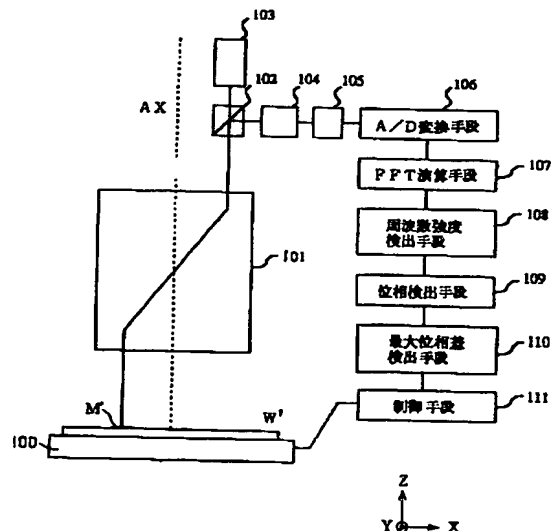
(74) 代理人 弁理士 高梨 幸雄

(54) 【発明の名称】 ベストフォーカス決定方法及びそれを用いた露光条件決定方法

(57) 【要約】

【課題】 高価な走査型電子顕微鏡を使用せずに、レジストの種類に対応したベストフォーカス位置及び最適な露光量を短時間で自動的に高精度で決定できるベストフォーカス決定方法及びそれを用いた露光条件決定方法を得ること。

【解決手段】 レチクルの面上に一方向に垂直な方向に伸びる一定線幅のジグザグ開口を該方向に一定周期で複数個並べて成るパターンを配置し、投影レンズの異なるフォーカス位置で該パターンを感光基板上に転写して複数の感光パターンを形成し、該複数の感光パターンを光電変換手段の撮像面に結像し、該光電変換手段から該方向に沿って1次元電気信号列を順次出力し、該1次元電気信号列をフーリエ変換して空間周波数成分の位相情報を算出し、該位相情報より該投影レンズのベストフォーカス位置を決定する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 投影レンズの光軸に対して垂直な面内にレチクルを配置し、該レチクルの面上に一方方向に対して周期性のあるパターンを配置し、該パターンを該投影レンズによって感光基板上に転写して感光パターンを形成することを異なるフォーカス位置で繰り返し、該感光基板上に転写した複数の感光パターンによって該投影レンズのベストフォーカス位置を決定するベストフォーカス決定方法であって、

該パターンは該レチクルの面上で該一方方向に垂直な方向に伸びる一定線幅のジグザグ開口を該方向に一定周期で複数個並べて成っており、

該パターンを異なるフォーカス位置で該感光基板上に転写して複数の感光パターンを形成する工程と、該複数の感光パターンを光電変換手段の撮像面に結像する撮像工程と、該光電変換手段より得られる画像信号から該ジグザグ開口の像の輪郭を構成するジグザグ線の1つの周波数成分に関する情報を算出する工程と、該情報に基づいてベストフォーカス位置を決定する工程とを有することを特徴とするベストフォーカス決定方法。

【請求項2】 前記ジグザグ線の1つの周波数成分に関する情報を算出する工程は、前記光電変換手段から前記方向に沿って1次元電気信号列を順次出力する工程と、該1次元電気信号列をフーリエ変換し、前記パターンの周期に対応する空間周波数成分の位相を算出する工程と、該位相の最大値と最小値を検出する工程を有することを特徴とする請求項1記載のベストフォーカス決定方法。

【請求項3】 前記感光基板は、レジストが塗布されたウェハであることを特徴とする請求項1、2記載のベストフォーカス決定方法。

【請求項4】 前記感光パターンは、現像工程後に形成されるレジストパターンであることを特徴とする請求項1、2又は3のベストフォーカス決定方法。

【請求項5】 前記感光パターンは、現像工程前にレジスト層に形成される潜像であることを特徴とする請求項1、2又は3のベストフォーカス決定方法。

【請求項6】 投影レンズの光軸に対して垂直な面内にレチクルを配置し、該レチクルの面上に一方方向に対して周期性のあるパターンを配置し、該パターンを該投影レンズによって感光基板上に転写して感光パターンを形成することを異なるフォーカス位置で繰り返し、該感光基板上に転写した複数の感光パターンによって該投影レンズのベストフォーカス位置を決定するベストフォーカス決定方法であって、

該パターンは該レチクルの面上で該一方方向に垂直な方向に伸びる一定線幅のジグザグ開口を該方向に一定周期で複数個並べて成っており、

該複数の感光パターンを光電変換手段の撮像面に結像し、該光電変換手段より得られる画像信号から該ジグザ

グ開口の像の輪郭を構成するジグザグ線の1つの周波数成分に関する情報を算出し、該情報に基づいてベストフォーカス位置を決定することを特徴とするベストフォーカス決定方法。

【請求項7】 投影レンズの光軸に対して垂直な面内にレチクルを配置し、該レチクルの面上に一方方向に垂直な方向に伸びる一定線幅のジグザグ開口を該方向に一定周期で複数個並べて成るパターンを配置し、該投影レンズの異なるフォーカス位置で該パターンを夫々露光量を変化させて感光基板上に転写して複数の感光パターンを形成し、該複数の感光パターンを光電変換手段の撮像面に結像し、該光電変換手段から該方向に沿って1次元電気信号列を順次出力し、該1次元電気信号列をフーリエ変換して空間周波数成分の位相情報と強度情報を算出し、該パターンの周期に対応する空間周波数成分の位相情報より該投影レンズのベストフォーカス位置を決定し、決定されたベストフォーカス位置における露光量の異なる感光パターンをフーリエ変換して得た空間周波数成分の特性より最適露光量を決定することを特徴とする露光条件決定方法。

【請求項8】 3角型の単位パターンを1次元方向に繰り返して成る3角状パターンを複数個、一方方向に周期的に配列したパターンをレチクル上に設け、該レチクル面上のパターンを投影レンズで感光基板上に該感光基板を光軸方向に位置を種々変えて投影露光し、該パターンの該感光基板の一方方向における画像情報より該投影レンズのフォーカス位置を検出していることを特徴とするベストフォーカス決定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明はベストフォーカス決定方法及びそれを用いた露光条件決定方法に関し、特にLSI製造の際のリソグラフィ工程において使用される露光装置を使用する際に好適なものである。

【0002】

【従来の技術】 近年、LSI製造の際のリソグラフィ工程において使用される露光装置はLSIの回路パターンの集積度が高まり、転写すべきパターンの線幅もサブミクロンの領域になっているので、その投影レンズの解像力を安定して維持していくためには最良のフォーカス位置と最適露光量、即ち最適の露光条件を正確に設定することが極めて重要になっている。

【0003】 従来は試し焼きとして、1ショット毎に露光条件即ちフォーカス位置と露光量（シャッター時間）の少なくとも一方を順次変えて、感光基板に露光後、感光基板を現像して直線状のパターンの線幅を光学顕微鏡や線幅測定装置で計測して最良のフォーカス位置と最適の露光量、即ち最適の露光条件を決定していた。

【0004】 例えばステップアンドリピート方式の露光装置においては、ウェハ上のショット領域の配列の横方

向についてはフォーカス値を一定にして露光量（シャッター時間）を一定量ずつ変えて露光を行い、ショット領域の配列の縦方向については露光量を一定にしてフォーカス値を一定量ずつ変えて露光する。

【0005】これを現像後に、形成された各ショット内のラインアンドスペースのレジストパターンの線幅を走査型電子顕微鏡によるSEM 測長等により検出し、露光装置の最良焦点位置（ベストフォーカス）と最適露光量を決定していた。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記の従来の方法においてベストフォーカスの決定及び最適露光量の決定に際しては、レジストパターンの線幅を露光基板を現像後にSEM 等で計測するため結果を出すまでに長時間を要し、且つ必要な測定装置価格が極めて高価であるという問題があった。

【0007】本発明は、高価な走査型電子顕微鏡を使用せずに、レジストの種類に対応したベストフォーカス位置及び最適の露光量を短時間で自動的に高精度で決定できるベストフォーカス決定方法及びそれを用いた露光条件決定方法の提供を目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明のベストフォーカス決定方法は、

（1-1） 投影レンズの光軸に対して垂直な面内にレチクルを配置し、該レチクルの面上に一方方向に対して周期性のあるパターンを配置し、該パターンを該投影レンズによって感光基板上に転写して感光パターンを形成することを異なるフォーカス位置で繰り返し、該感光基板上に転写した複数の感光パターンによって該投影レンズのベストフォーカス位置を決定するベストフォーカス決定方法であって、該パターンは該レチクルの面上で該一方方向に垂直な方向に伸びる一定線幅のジグザグ開口を該方向に一定周期で複数個並べて成っており、該パターンを異なるフォーカス位置で該感光基板上に転写して複数の感光パターンを形成する工程と、該複数の感光パターンを光電変換手段の撮像面に結像する撮像工程と、該光電変換手段より得られる画像信号から該ジグザグ開口の像の輪郭を構成するジグザグ線の1つの周波数成分に関する情報を算出する工程と、該情報に基づいてベストフォーカス位置を決定する工程とを有すること等の特徴としている。

【0009】特に、

（1-1-1） 前記ジグザグ線の1つの周波数成分に関する情報を算出する工程は、前記光電変換手段から前記方向に沿って1次元電気信号列を順次出力する工程と、該1次元電気信号列をフーリエ変換し、前記パターンの周期に対応する空間周波数成分の位相を算出する工程と、該位相の最大値と最小値を検出する工程を有すること。

（1-1-2） 前記感光基板は、レジストが塗布されたウェハである。

（1-1-3） 前記感光パターンは、現像工程後に形成されるレジストパターンである。

（1-1-4） 前記感光パターンは、現像工程前にレジスト層に形成される潜像である。
こと等の特徴としている。

【0010】更に、本発明のベストフォーカス決定方法は、

（1-2） 投影レンズの光軸に対して垂直な面内にレチクルを配置し、該レチクルの面上に一方方向に対して周期性のあるパターンを配置し、該パターンを該投影レンズによって感光基板上に転写して感光パターンを形成することを異なるフォーカス位置で繰り返し、該感光基板上に転写した複数の感光パターンによって該投影レンズのベストフォーカス位置を決定するベストフォーカス決定方法であって、該パターンは該レチクルの面上で該一方方向に垂直な方向に伸びる一定線幅のジグザグ開口を該方向に一定周期で複数個並べて成っており、該複数の感光パターンを光電変換手段の撮像面に結像し、該光電変換手段より得られる画像信号から該ジグザグ開口の像の輪郭を構成するジグザグ線の1つの周波数成分に関する情報を算出し、該情報に基づいてベストフォーカス位置を決定すること等の特徴としている。

【0011】又、本発明の露光条件決定方法は、

（1-3） 投影レンズの光軸に対して垂直な面内にレチクルを配置し、該レチクルの面上に一方方向に垂直な方向に伸びる一定線幅のジグザグ開口を該方向に一定周期で複数個並べて成るパターンを配置し、該投影レンズの異なるフォーカス位置で該パターンを夫々露光量を変化させて感光基板上に転写して複数の感光パターンを形成し、該複数の感光パターンを光電変換手段の撮像面に結像し、該光電変換手段から該方向に沿って1次元電気信号列を順次出力し、該1次元電気信号列をフーリエ変換して空間周波数成分の位相情報と強度情報を算出し、該パターンの周期に対応する空間周波数成分の位相情報より該投影レンズのベストフォーカス位置を決定し、決定されたベストフォーカス位置における露光量の異なる感光パターンをフーリエ変換して得た空間周波数成分の特性より最適露光量を決定すること等の特徴としている。

【0012】又、本発明のベストフォーカス決定方法は、

（1-4） 三角型の単位パターンを1次元方向に繰り返して成る三角状パターンを複数個、一方方向に周期的に配列したパターンをレチクル上に設け、該レチクル面上のパターンを投影レンズで感光基板上に該感光基板を光軸方向に位置を種々と変えて投影露光し、該パターンの該感光基板の一方方向における画像情報より該投影レンズのフォーカス位置を検出していること等の特徴としている。

【0013】

【実施例】図1は露光条件即ちベストフォーカス及び最適露光量を決定しようとする露光装置の要部概略図である。又、図2は本発明のベストフォーカス決定方法及びそれを用いた露光条件決定方法の作業フローチャートである。図2に示すように本決定方法では大きく分けて3つのステップを経る。

【0014】第1のステップは露光装置による測定用パターン（パターン）の試し焼き、第2のステップは試し焼きしたウエハの現像、第3のステップはウエハ上に焼付けられたレジストパターンからのベストフォーカス及び最適露光量の決定である。

（1） 試し焼きステップ

図1は本発明を適用する露光装置の要部概略図である。本露光装置はフォーカス位置制御手段及び露光制御手段を有する。図中、215は水銀ランプなどの露光光源、214は開閉可能なシャッター、212はハーフミラー、211はミラー、L1、L2は照明光学系である。

【0015】Rはレチクルであり、その上には回路パターンや試し焼き用の測定用パターンを形成している。Wはウエハ（感光基板）であり、その表面にはレジストを塗布している。201は投影レンズ（縮小投影レンズ）であり、レチクルR上の回路パターン等をウエハW上に縮小して転写する。その光軸AXをZ方向とするXYZ座標系を設定する。200はウエハステージであり、ウエハWを吸着し、これをX、YおよびZ方向に移動させる。なお、レチクルRは投影レンズ201の光軸に対して垂直な面内に配置している。

【0016】203は半導体レーザなどの高輝度光源であり、204は照明光学系である。205、206は折曲げミラー、207はフォーカス位置検出光学系、208は2次元位置検出素子であり、CCDなどで構成している。209はフォーカス制御回路である。以上の203～209の各要素はフォーカス位置制御手段の一要素を構成している。

【0017】フォーカス位置制御手段の作用を説明する。光源203から射出した光は照明光学系204よりピンホールを通過し、その光束は折曲げミラー205で方向を変えられた後、ウエハWの表面に浅い角度で入射する。ウエハWの測定点で反射した光束は折曲げミラー206で方向を変えられた後、フォーカス位置検出光学系207を介して2次元位置検出素子208に入射する。2次元位置検出素子208はその受光面上の入射位置を検知する。

【0018】ウエハWのZ方向の位置変化は、2次元位置検出素子208上で入射位置のずれとして検出できるため、2次元位置検出素子208からの出力信号に基づいてフォーカス制御回路209がウエハステージのZ方向の位置を制御する。

【0019】次に露光量制御手段について説明する。2

13は照度を検出するためのセンサーである。210は積算露光制御回路であり、シャッター214を開放中、センサー213からの照度信号を積算して露光を制御する。シャッター214、ハーフミラー212、センサー213、積算露光制御回路210等は露光制御手段の一要素を構成している。

【0020】この露光制御手段の作用を説明する。シャッター214が開放になると、光源215からの光はレチクルRを照射し、投影レンズ201によってウエハW上にレチクルR上の回路パターン等が露光される。同時にハーフミラー212によって一部分割された露光量はセンサー213に達し、センサー213で露光量の照度を測定し、積算露光制御回路210が露光量を時間的に積算し、露光量が所定の量に達するとシャッター214を閉じて露光を終了させる。

【0021】試し焼きのステップについて説明する。図1の露光装置に試し焼きレチクルR_Tをセットする。試し焼きレチクルR_T上には図3に示す測定用パターン（パターン）Mを形成している。測定用パターンMはクロムの不透明膜の中にこの膜面上の一方向（X方向又はY方向＝計測方向）に垂直な方向に伸びる一定線幅のジグザグ開口を該計測方向に一定周期λ_pで複数個並べて成っている。（このパターンは又3角型の単位パターンを1次元方向に繰り返して3角状パターンを複数個、一方向に周期的に配列して成っているとも言える。）図3中、M_xは計測方向Xのフォーカス及び露光条件を決定するためのパターンであり、M_yは計測方向Yのそれを決定するためのパターンである。

【0022】そしてボジ型のレジストを塗布したウエハWをウエハステージ200にセットし、レチクルR_Tを図4に示すようにステップアンドリピート方式でウエハW上に順次露光（転写）して測定用パターンMの像である感光パターンM'を形成する。

【0023】このとき前記のフォーカス位置制御手段及び露光制御手段を用いて、X方向のショットS_{1,1}→S_{m,1}ではショット毎に露光量を変えて露光し、Y方向のショットS_{1,1}→S_{1,n}ではショット毎にフォーカス位置を一定量ずつ変えて（ウエハWの位置を光軸方向に種々と変えて）露光し、所定数のショットをすれば試し焼きは終わる。この工程はレチクルR_T上のパターンを異なるフォーカス位置で露光量を変化させて感光基板上に転写して複数の感光パターンを形成する工程である。

（2） 試し焼きウエハWの現像。

【0024】試し焼きの終わったウエハWは現像する。W'を現像の終わったウエハとする。図5は現像したウエハW'のレジストパターン（感光パターン）M'の部分拡大図である。このうち、図5(A)はベストフォーカス位置のショットにおけるレジストパターンM'の一部拡大図、図5(B)はベストフォーカスからずれている、所謂デフォーカス位置におけるショットのレジストパターンM'の

一部拡大図を示す。ベストフォーカス位置ではレジストパターンM'の角部が直角に形成されているが、デフォーカス位置ではレジストパターンM'の角部が丸まっている。

【0025】エッジ a_n とエッジ b_n の間はマーク段差の山部（ライン）を示し、エッジ b_n と a_{n+1} の間は谷部（スペース）を示す。露光条件は示していないが、図5では $a_1 \sim b_1$ の幅と $b_1 \sim a_2$ の幅の比が1:1になっており、これが最適露光によるショットであることを示している。

(3) ベストフォーカス及び最適露光量の決定のステップ。

【0026】この工程ではレジストパターン測定装置を使用する。図6はレジストパターン測定装置の要部概略図である。図中、W'は現像したウェハであり、その表面にはレジストパターンM'が形成されている。101は拡大レンズであり、ウェハW'上のレジストパターンM'を拡大して結像する。その光軸AXをXYZ座標のZ方向とする。100はウェハステージであり、ウェハW'を吸着し、これをX,YおよびZ方向に移動させる。

【0027】103は部分照明系であり、ウェハW'上のレジストパターンM'を照明する。102はビームスプリッタであり、ウェハW'上のレジストパターンM'からの反射光を、側方へ反射する。104は検出光学系であり、拡大レンズ101と共に拡大光学系を形成し、レジストパターンM'を所定の倍率で2次元の光電変換手段105の撮像面に結像させる。光電変換手段105は、例えばITV、2次元イメージセンサ等であり、撮像した像を電気信号に変換する。

【0028】106はA/D変換手段であり、光電変換手段105からの信号を拡大光学系の結像倍率および光電変換手段105の撮像面の画素ピッチにより定まるサンプリングピッチ λ_s により2次元の撮像面上の画素のxy方向のアドレスに対応した2次元離散電気信号列に変換する。

【0029】107はFFT演算手段であり、入力した電気信号列 $S_y(x)$ を離散フーリエ変換して空間周波数領域に変換し、そのフーリエ係数を高速に演算する。

【0030】109は位相検出手段であり、測定用パターンMの周期 λ_p に対応する空間周波数成分の基準点 X_s に関する位相 θ を演算して算出する。110は最大位相差検出手段であり、位相の最大値と最小値を決定して最大の位相差を検出する。111は制御手段であり、全体の動作を制御したり、ベストフォーカス位置を決定したり、最適露光量を決定したりする。

【0031】なお、ここではレジストパターン測定装置

を露光装置と別なものとして説明したが図1の露光装置に上記の各要素102～111を備えても良い。（専用のレジストパターン測定装置を構成すれば、投影レンズ201の収差の影響が少なくなるのでより高精度の測定が可能となる。）次にこのステップを説明する。図6に示すように現像後のウェハW'をウェハステージ100に載置し、照明系103を動作させ、拡大レンズ101により、ウェハW'上のレジストパターン（感光パターン）M'を照明する。照明されたレジストパターンM'からの光は拡大レンズ101を逆行し、ビームスプリッタ102、検出光学系104を介して光電変換手段105の撮像面に結像する。そこでウェハW'上のレジストパターンM'の像が所定の倍率で光電変換手段105の撮像面上に得られる。これは感光パターンM'を光電変換手段105の撮像面に結像する撮像工程である。

【0032】図7はレジストパターンM'を構成するパターン M_x' 、 M_y' 及びそれらの計測領域であるウィンドウ W_x 、 W_y の位置関係の説明図である。又、図8は光電変換手段105の撮像面上に結像するレジストパターン M_x' の像の一部拡大図である。この時撮像面を構成する画素のxy方向はレジストパターンM'の各計測方向と一致させている。

【0033】光電変換手段105によってレジストパターン M_x' 又は M_y' は光電変換され、電気信号列の画像信号として順次出力され、A/D変換手段106によって、拡大光学系の結像倍率および撮像面の画素ピッチにより定まるサンプリングピッチ λ_s により図9に示すような2次元の撮像面の画素のxy方向のアドレスに対応した2次元離散電気信号列(X,Y)に変換される。なお、図9は1つの検出ライン（画素列）からの信号の一例である。

【0034】2次元離散電気信号列を(X,Y)とすると、A/D変換手段106からは図9の如きx方向に離散的な電気信号列が順次FFT演算手段107へ出力する。電気信号列は撮像面の計測方向の1列単位で出力する（これを1次元電気信号列 $S_y(x)$ と定義する）。この工程が光電変換手段から計測方向に沿って1次元電気信号列を順次出力する工程である。

【0035】FFT演算手段107は入力した1次元電気信号列 $S_y(x)$ を離散フーリエ変換し、1次元電気信号列 $S_y(x)$ を空間周波数領域に変換し、そのフーリエ係数を高速に算出する。その手法は公知のN点(N=2ⁿ)の高速フーリエ変換（以下FFTと呼ぶ）によるものであり、サンプリング周波数 f_s を1に正規化したときに空間周波数 $f(k) \equiv k/N$ の複素フーリエ係数 $X(k)$ は、

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} S_y(x) \cdot \exp[-j \cdot 2 \cdot \pi \cdot (k/N) \cdot n] \quad (1)$$

と表され、その周波数強度 $E(k)$ は、

$$E_y(k) = [\text{Re}\{X_y(k)\}^2 + \text{Im}\{X_y(k)\}^2]^{1/2} \quad (2)$$

と表される。

$$\Theta_y(k) = \tan^{-1} [\text{Im}\{X_y(k)\} / \text{Re}\{X_y(k)\}] \quad (3)$$

と表わすことができる。ただし、 j は虚数単位、 $\text{Re}\{X(k)\}$ 、 $\text{Im}\{X(k)\}$ は各々、複素数 $X(k)$ の実部、虚部を表す。

【0037】位相検出手段109は測定用パターンMの周期 λ_p に対応する空間周波数成分の基準点 X_0 に関する位相 $\Theta(k)$ を、式(3)にしたがって算出する。この工程が1次元電気信号列をフーリエ変換し、前記パターンMの周期に対応する空間周波数成分の位相を算出する工程である。

【0038】そして、この段階で横軸に検出画素ライン y 、縦軸に位相 $\Theta(y)$ をプロットすると、例えば図10に示す曲線Bが得られる。この曲線BはレジストパターンM中のジグザグ開口の1つの像の輪郭を構成するジグザグ線の1つ（例えば図5中の曲線 a_1 又は曲線 b_1 ）に対応している。

【0039】次に、最大位相差検出手段110は位相の最大値 $\Theta(y)_{\max}$ と最小値 $\Theta(y)_{\min}$ を検出し、 $d = \Theta(y)_{\max} - \Theta(y)_{\min}$ の演算によって該ジグザグ線の最大位相差 d を求める。この最大位相差検出手段110では位相の最大値と最小値を検出する工程を担当しており、又光電変換手段より得られる画像信号から最大位相差 d を求める工程はジグザグ開口の1つの像の輪郭を構成するジグザグ線の1つに関する情報（最大位相差 d ）を算出する工程である。

【0040】前記のように図3に示す測定用パターンMをウェハWに焼き付ける際、デフォーカスした状態で焼き付けると図5(B)に示すように角部が丸められてしまい、この感光パターンからは図10の曲線Bに示す図形が得られる。しかし、試し焼きの際には同一露光条件でフォーカスを振りながら複数のレジストパターンMを焼き付けているので、その中にはベストフォーカスで焼き付けられたものが含まれている。ベストフォーカスで焼かれたものからは図10の曲線Aに近い図形が得られ、最大位相差 d が最大値 d_{\max} を示す。

【0041】そこで、最大位相差検出手段110が算出した各ショットについての最大位相差 d を制御手段111に記憶しておき、すべてのショットについて最大位相差 d を得た後に制御手段111はこの最大位相差 d が最大値 d_{\max} を示すショットを決定し、露光装置においてこのショットを行ったウェハWのZ位置をベストフォーカス位置とするのである。この工程が各ショットの最大位相差 d に基づいてベストフォーカス位置を決定する工程である。

【0042】曲線AとBは位相がずれているが、これはウィンドウ W_x とレジストパターン M_x' の位置関係が、レジストパターンM'毎に必ずしも一致しないからで、ウィンドウ W_x の領域がレジストパターン M_x' 領域に含まれていれば、最大位相差 d の検出に影響を与えない。

【0036】又、その位相 $\Theta(k)$ は

(3)

【0043】さらに、ウィンドウ W_x とレジストパターン M_x' が θ だけ傾いた場合は図11に示すように曲線Bは座標上で $\theta' = k \cdot \theta$ だけ回転した曲線B'として得られる。その結果、最大位相差 d は図中、 d' のように拡大されて得られることになる。この場合、曲線B'自身の最小自乗直線Cを座標上で計算すると、最小自乗直線Cの傾きが θ による影響そのものを示すことになるので、曲線B'と直線Cとの差分をとり、その最大位相差をもとめれば θ の影響を排除して最大位相差 d を正しく求めることができる。

【0044】本実施例の効果を説明する。ベストフォーカスの決定に当たって1つの角部の丸みをエッジの位置変化として画像処理によって認識することはS/N的に困難であるが、本実施例のように複数の角部を有するパターンでFFT演算を行い、測定用パターンMの周期 λ_p に対応する空間周波数成分の位相 $\Theta(k)$ を求めることにより、微小な角部のくずれも高精度に検出することができる。

【0045】さらに例えばX方向の計測の場合、右向きの角部だけではレジストパターンM'のウィンドウに対する横ずれと区別することができないが、レジストパターンM'として左向きの角部を用意し、左右の角部で差分を取ることによって、レジストパターンM'の位置とは無関係に角部のシャープネスのみの検出を可能にしている。

【0046】なお、本実施例ではウェハW上の感光パターンMの計測方向における画像情報からベストフォーカスの位置を決定しているとも言える。

【0047】又、ベストフォーカスの決定に当たって高価な走査型電子顕微鏡によってレジストパターンM'の線幅を一々測定しなくてよく、短時間で自動的にベストフォーカスを決定することができる。

【0048】なお、本実施例ではベストフォーカスの決定に当たって左右の角部間の計測方向の幅（間隔）を光強度分布を示す1次元の電気信号列をFFT演算して得られる位相に変換し、その最大位相差によって検出しているが、画像処理により特定の特徴点を検出する他の手法を用いても同様にベストフォーカスを検出できる。例えば、角部部分の画像にマッチしたテンプレートを用意して、角部位置を検出してもよい。その場合、図6のFFT演算手段107、周波数強度検出手段108、位相検出手段109は角部位置検出手段に置き換えられ、また最大位相差検出手段110は最大角部間距離検出手段に置き換えれば良い。

【0049】次に、最適露光量を決定する方法について述べる。図3に示す測定用パターンMを露光量を変えながら焼き付けたとき、レジストパターンM'で顕著に変わるのはレジストパターンM'のデューティ（ラインとスペースの幅の比率）である。即ち、図5で説明するなら

ば、 a_n と b_n の距離と b_n と a_{n+1} の距離の比が変化するというのである。

【0050】レジストパターン M' のデューティーの変化はレジストパターン M' をフーリエ変換したときの周波数強度の変化となって現れる。そこで最適露光量の決定はベストフォーカス位置において露光量を変えて焼き付けたレジストパターン M' をFFTによってフーリエ変換した際の特定周波数の強度変化に着目して決定する。

【0051】最適露光量決定の手順を説明する。ベストフォーカス決定の際と同じく、レジストパターン測定装置にウエハ W をセットし、今度は先に決定されたベストフォーカス位置で露光量を順次変えた各ショットの各レジストパターン M' を被検位置にセットし、レジストパターン M' の像を光電変換手段105に取り込む。光電変換手段105からの画像信号はA/D変換手段106によって電気信号列 $S_y(x)$ となってFFT演算手段に入力され、ここでFFT演算を実行して各周波数成分の強度分布 $E(k)$ を算出する。

【0052】図12～14は空間周波数に対する強度分布 $E(k)$ の説明図である。図12は露光量が少なかった場合、図13は最適露光量の場合、図14は露光量が大き過ぎた場合の強度分布である。この図で $f_{np}=n \cdot \lambda_s / \lambda_p$ の関係がある。

【0053】このなかで或る周波数成分に着目して、最適露光量でパターンが焼き付けられたとき（多くの場合、デューティーが1:1になるとき）、着目した周波数成分の強度がどうなるか、あらかじめ計測しておく。例えば、図15は空間周波数 f_{3p} に着目したときの露光量と空間周波数 f_{3p} の強度の関係である。この図から、最適露光の場合、空間周波数 f_{3p} の強度が極小値を示すということが予め判っているとする。

【0054】そこで、ウエハ W 上のベストフォーカス位置で露光量を種々と変えたショットについて空間周波数 f_{3p} の強度を求め、周波数強度が最小になるショットの露光量を最適露光量と決定する。

【0055】周波数強度はショット間の照明光量の違いや、レジスト厚さの違いによる反射光量の差にも依存する。そのような要因に基づく測定誤差が懸念される場合は、その他の空間周波数の強度、例えば空間周波数 g_{1p} や g_{2p} との強度の比率が最小となる露光量を最適露光量と定義すれば、安定して露光条件の計測を実施することができる。

【0056】以上によって露光装置のベストフォーカス位置及び最適露光量、即ち最適の露光条件を決定できる。

【0057】なお、以上の最適露光量の決定方法では、ベストフォーカス位置を決定した後にそのベストフォーカス位置で露光量を種々と変えたショットをフーリエ変換して最適露光量を求めたが、次のように処理しても良い。即ち、試し焼きしたウエハ W 上の各ショット $S_{i,j}$ に

ついて上記の最大位相差 $d_{i,j}$ と特定空間周波数成分の強度 $E_{i,j}$ を自動的に検出して制御手段111で記憶しておき、全てのショットについてこれらの値が得られた後に、制御手段111は最大値 d_{max} を示すショットを決定してベストフォーカス位置を決定し、次いで記憶データの中からそのベストフォーカス位置で露光量を種々と変えたショットの特定空間周波数成分の強度 $E_{i,j}$ を調べて最適露光量に該当するショットを決定し、そのデータを出力する。このようにすれば速やかに最適の露光条件を決定できる。

【0058】この方法で露光条件を決定すれば、レジストパターンをフーリエ変換することにより、ベストフォーカスと最適露光量、即ち最適の露光条件を高価な走査型電子顕微鏡を使わずに短時間で自動的に高精度で決定することができる。

【0059】決定されたベストフォーカス値は露光装置のフォーカス制御手段にフィードバックし、又決定された最適露光量を露光装置の積算露光制御手段にフィードバックすることでウエハ W を常にベストフォーカス位置に設定して最適露光量で露光することができる。

【0060】レジスト種類、膜厚の変化に応じて、以上の工程を繰り返し行なうことで、常にベストフォーカス位置および最適露光量、即ち最適の露光条件が容易に決定できる。

【0061】なお、本実施例においては、試し焼きを行ったウエハ W を現像して、現像後のウエハ W のレジストパターン M' を測定するようにしたが、現像前にレジスト層に形成される潜像を検出してもベストフォーカスおよび最適露光量を決定できる。潜像を検出するようにすれば試し焼きのウエハを現像するステップを省くことができるので、露光装置からウエハ W を外すことなく最適の露光条件を自動的に決定することもでき、セットアップタイムを大幅に短縮できる。

【0062】次に、上記のベストフォーカスの決定方法を利用する投影レンズ201の収差の測定方法を説明する。図3に示す測定用パターン M はX方向およびY方向に配列しているので、ウエハ W 上の同一位置でX方向とY方向のベストフォーカス位置を検出できる。この検出により投影レンズ201の像面上、この部分における非点収差を計測できる。

【0063】さらに露光領域内の中心と外周の複数位置に測定用パターン M を設けることで投影レンズ201のレジストプロセスを介した像面湾曲と像面傾きを検出することができる。ただし、精度向上の点で測定用パターン M の $L\&S$ のマーク本数はFFT処理をする上でも多い方が望ましく、少なくとも10本は必要である。

【0064】このような投影レンズ201の収差を検出する際は、感光材料として実際に露光するレジストを使用しなくても良く、例えば光磁気材やフォトクロミック材料等の感光する材料でも使用できる。

【0065】また本実施例では、投影レンズを用いる露光装置の露光条件を求めたが投影レンズを用いないプロキシミティー露光による露光装置の露光条件を求める際にも本発明を応用できる。その場合は焦点位置を変動させる代わり回路パターンを形成しているマスクとウェハWの間隔を変えて試し焼きを行えば良い。

【0066】

【発明の効果】本発明は以上の構成により、高価な走査型電子顕微鏡を使用せずに、レジストの種類に対応したベストフォーカス位置及び最適の露光量を短時間で自動的に高精度で決定できるベストフォーカス決定方法及びそれを用いた露光条件決定方法を達成する。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明を適用する露光装置の要部概略図

【図2】 ベストフォーカス及び最適露光量の決定までの工程図

【図3】 測定用パターンの説明図

【図4】 試し焼きしたウェハの説明図

【図5】 ウェハ上に焼付けられたレジストパターン（感光パターン）の一部拡大図

(A) ベストフォーカス

(B) デフォーカス

【図6】 本発明のレジストパターン測定装置の要部概略図

【図7】 ウェハ上のレジストパターンとレジストパターン測定装置の測定領域を示すウィンドウとの位置関係を示す図

【図8】 レジストパターン測定装置の撮像面上に結像するレジストパターンの一部拡大図

(A) ベストフォーカス

(B) デフォーカス

検出画素ラインm, nと示してあるのはライン毎に光強度分布を示す電気信号列 $S_y(x)$ を時系列に出力する様子を模式的に示すためである。

【図9】 光電変換手段から時系列に順次出力される1次元電気信号列の例

【図10】 検出画素ライン毎にフーリエ変換して得られた基本周波数成分に対する位相を検出画素ラインに対してプロットした図

【図11】 レジストパターン検出ウィンドウが相対的に傾いていた場合、最大位相差検出過程で起こる現象と、それを解決する方法の説明図

【図12】 露光量不足の場合、レジストパターンをフーリエ変換したときの空間周波数強度分布の例

【図13】 適正露光の場合、レジストパターンをフーリエ変換したときの空間周波数強度分布の例

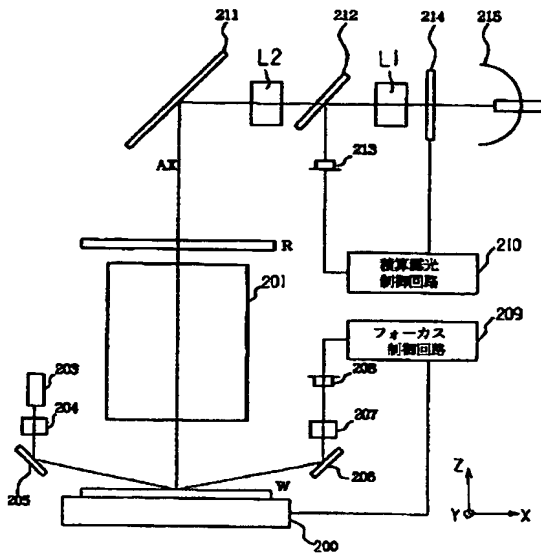
【図14】 露光量が大き過ぎた場合、レジストパターンをフーリエ変換したときの空間周波数強度分布の例

【図15】 特定周波数についての露光量と周波数強度の関係図

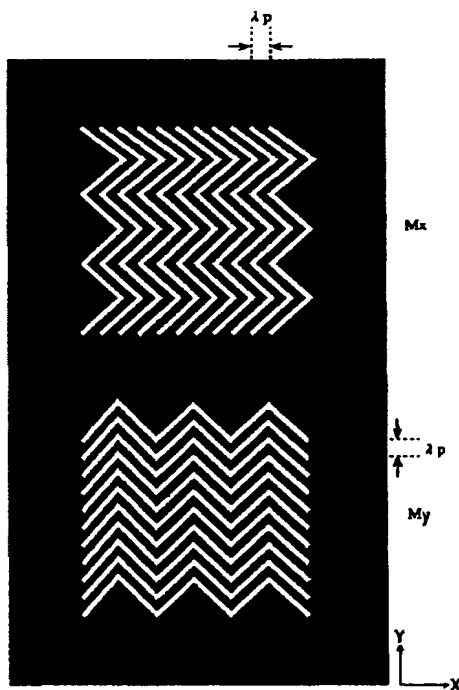
【符号の説明】

100 ウェハステージ
101 拡大レンズ
102 ビームスプリッター
103 照明系
104 検出光学系
105 光電変換手段
106 A/D変換手段
107 FFT演算手段
108 周波数強度検出手段
109 位相検出手段
110 最大位相差検出手段
111 制御手段
200 ウェハステージ
201 投影レンズ（縮小投影レンズ）
203 高輝度光源
204 照明光学系
205、206 折り曲げミラー
207 フォーカス位置検出光学系
208 2次元位置検出素子
209 フォーカス制御回路
210 積算露光制御回路
211 ミラー
212 ハーフミラー
213 センサー
214 シャッター
215 露光光源
L1, L2 照明光学系
W ウェハ
W' 焼付け、現像したウェハ
M 測定用パターン（パターン）
M' レジストパターン
R レチクル
R_T 試し焼きレチクル

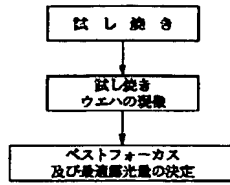
【図 1】



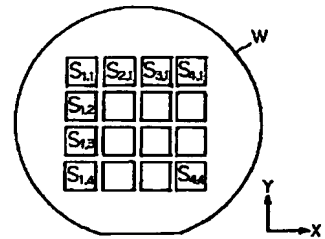
【図 3】



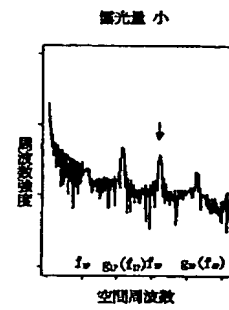
【図 2】



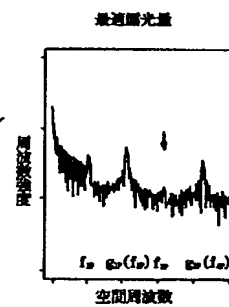
【図 4】



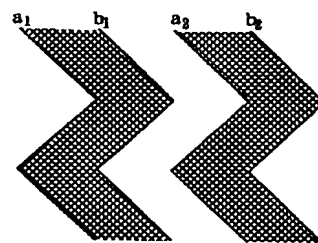
【図 12】



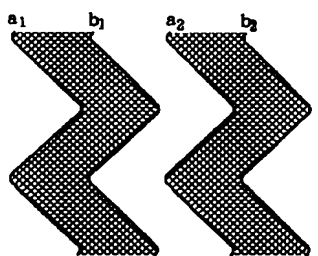
【図 13】



【図 5】

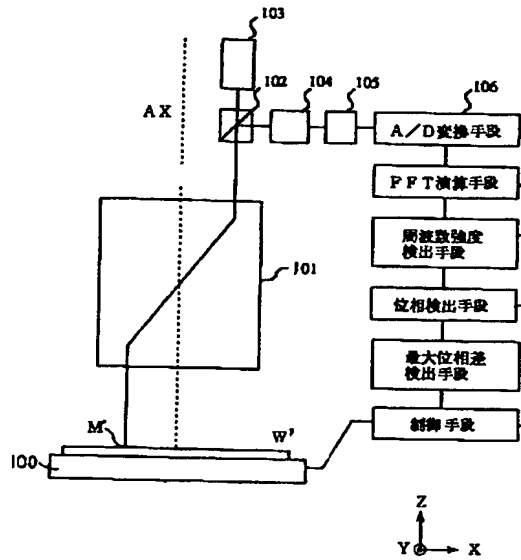


(A) ベストフォーカス時のエッジプロファイル

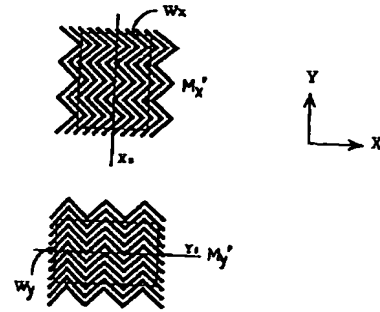


(B) デフォーカス時のエッジプロファイル

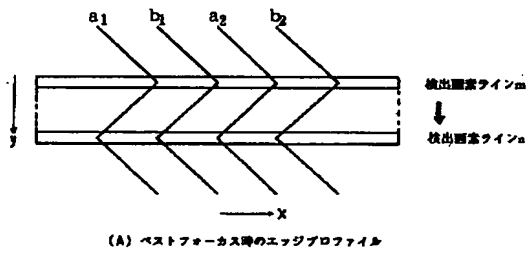
【図6】



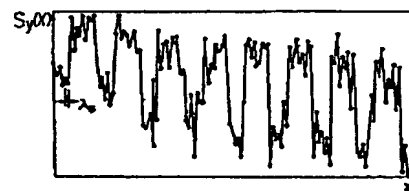
【図7】



【図8】

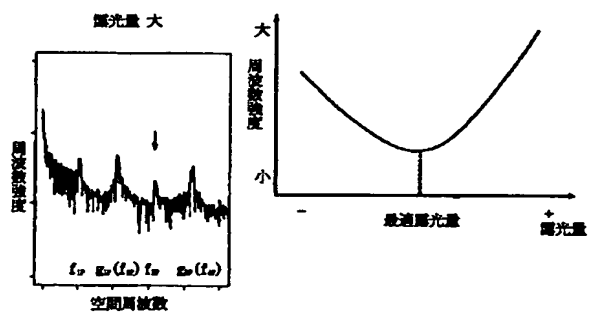
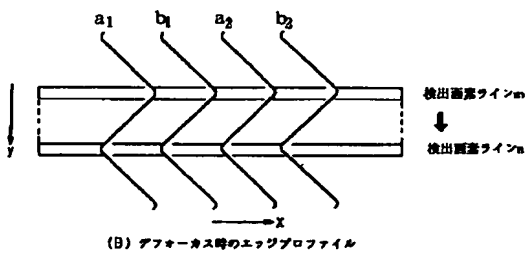


【図9】

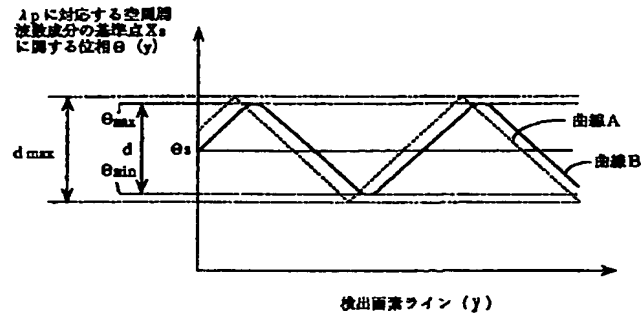


【図14】

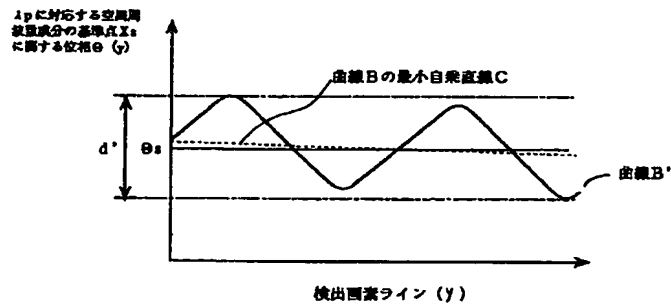
【図15】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁶
G 0 3 F 9/02

識別記号 庁内整理番号

F I
G 0 3 F 9/02
H 0 1 L 21/30

技術表示箇所

H
5 1 6 D